棉铃虫蛾复眼的形态及显微结构

高慰曾　郭炳群
(中国科学院动物研究所)

摘要　棉铃虫 [*Heliothis armigera* (Hübner)] 蛾复眼的外形约为椭球体绕长轴等切的 2/5。最前和最后小眼之间的夹角约为 150°，而最上和最下小眼之间的夹角约为 180°，一个复眼大约包括 8,900 个小眼。每个小眼有一套由角膜、晶锥细胞及晶锥所组成的屈光器和分布在不同水平面上的 7—9 个小网膜细胞。其周围被 6 个次虹膜细胞所包围。两个明显可见的区域性差异为：1) 复眼不同区域内小眼长度不等，背部区域最短，侧、后、腹和前各区域相继增加。2) 背部区域视杆中段的横切面为矩形，其它区域的视杆为放射形。本文将小眼及其周围，从远端到基部分13个层次进行了结构上的描述。

棉铃虫 [*Heliothis armigera* (Hübner)] 蛾属夜行昆虫，其复眼对弱光有较强的适应能力。近 10 年来，我们对棉铃虫等几种夜蛾的趋光行为曾做过一系列的研究。结果表明一些过去难以解释的现象都与复眼的生理特性分不开 (陈宁生，1979)。为了更深入地认识复眼的功能，我们对其形态结构进行了较全面的研究。现将有关形态和组织结构部分简述如下。

一、复眼外部形态

1. 方法　将复眼连同头部一起切入 75% 酒精中固定 24 小时，然后取出保存在新的 75% 酒精中备用。将经过固定的标本在实体显微镜下进行观察、解剖和测量。

2. 结果　头的正面观，复眼为外缘弯，内缘直而构成的半圆形，竖立在头的两侧。两眼排列略成倒八字形，即背部两眼间距离大于腹部，两者的比例约为 4:3；头部背面观，两眼各自大约成扇形；头部侧面观，复眼略为椭圆形，下部略宽于上部，复眼长(背腹间的最大距离)约为 1.60 毫米，其宽(前后间的最大距离)约为 1.44 毫米，长宽比值为 1.11。若自背部最远点至腹部最远点连线作纵轴，将复眼分成前、后两部分，则前部大于后部，其比例为 3:2。自背面测得两边线之间的夹角为 144°，球轴一周为 360° 故复眼的立体形状大致为椭球体绕长轴等切的 2/5。其前后两边线之间的夹角即是同一只复眼的不同部位也不完全相等。以两个最远端相比较，背部夹角略大于腹部夹角。中间部位大约为 150° (图版 I:1)。其间同一平面上的小眼平均数为 76 个。背腹两边线间的夹角基本相等，大约为 180° (图版 I:2)，其间同一平面上的小眼平均数为 125 个。整个复眼包括大约 8,900 个小眼，这是根据复眼面积和小眼面积的大小计算出来的。此小眼数目仅接近于 Agee 在 1971 年所报道的美国棉铃虫 (*Heliothis zea*) 小眼数目的一半。

二、小眼的构造

1. 方法　将试验蛾子分两组，每组 10 头，一组置光照强度约为 250 勒克斯的光照箱中，经 3 小时光照后切头入 Susa 液中固定。另一组经光照后，置暗室使之暗适应 4 小时

本文于 1982 年 9 月收到。
本项研究是在陈宁生先生指导下进行的。

半后，同上法固定。以一般石蜡切片法将上述两种材料分别进行定位包埋，按照自前向后，自背向腹和自侧向中的顺序定向切片而获得背、腹、前、后、侧五个部位的纵横连续切片，其厚度约为4微米。切片在光学显微镜下进行观察，测量和摄影。

2. 结果 小眼长度在复眼的不同区域而各有不同，这是复眼区域性差异的指标之一，见表1。

表1 棉铃虫蛾复眼各区域小眼长度的比较

项目	背	侧	腹	前	后
长度(微米)	369	452	517	557	482
比值	1.00	1.23	1.40	1.50	1.31

表1说明，小眼长度明显地表现出腹面的大于背面的，前面的大于后面的。这种现象与 Agee (1972) 所报道的美国棉铃虫小眼长度的分布状况恰恰相反。以前面最长的小眼作代表，也仍然短于美国棉铃虫小眼的长度 (Agee, 1971)。

小眼长度*的差异主要由于网膜细胞柱和视杆长度不同所致。晶锥、反光层的长度各区域较相近，角膜厚度各区域基本相等。

根据结构和功能上的不同，小眼自外向内可分以下几部分：

(1) 角膜 在小眼的最外层，其侧面观为外缘突出，内缘平的扁圆形，厚为13微米，宽为22.5微米。正面观为正六边形，对边距离为22.5微米，对角间的距离为25微米。

(2) 晶锥细胞 每个小眼的角膜下面有4个晶锥细胞，其纵观与上下两部分的界限不明显，横切面可以看到略成椭圆形的4个细胞作近圆形排列，每个圆形结构周围有色素颗粒分布。

(3) 晶锥 晶锥细胞下面有一晶锥，其长一般54—60微米，宽的远端为14微米，近端为3微米。横切面近圆形，由4个相等的扇形紧密组成。晶锥自上至下均纵裂为4等份，无论纵切或横切都明显可见。

(4) 网膜细胞柱 晶锥与视杆之间为网膜细胞柱，它由6—8个小网膜细胞组成。该柱在不同水平其宽窄不等，在中间偏远较宽部位的横切面上可看见网膜细胞柱大多数由7个小网膜细胞组成，也有少数为6个或8个(图版I:3)在中段，由于小网膜细胞膨大体的集中存在故显得最宽，约8微米(图版I:4)。同时又由于小网膜细胞核也多在此集中，致使小网膜细胞的个数分辨不清(图版I:5)。

(5) 视杆 视杆由网膜细胞柱近心部分的中心部位特化而成。其纵观，可以看到远端略尖，呈箭头状，以下为平直而均匀的杆状，着色比其他部位深(图版I:6)。视杆横切面的形状因其在复眼上的部位以及同一视杆的水平度不同而异。现自外向内简述如下：

视杆上段 大多数呈不规则的多角形，每个视杆周围有断续的网纹，并可看到每个小眼内有6—8个小网膜细胞(图版I:7)。

视杆中段 除背部视杆之外为放射形，其周围有多边形网纹分布。每个视杆由6—8

* 小眼长度差异与光、暗适应程度无关，故未分别列出。

个椭圆形瓣状组成，椭圆形瓣状的长宽比例为 3:1（图版 I:8）。复眼背部视杆中段的横切为矩形，中部略窄于两端（图版 I:9）。其长宽比例为 6:5。背部视杆为矩形而不同于其它区域的形象。在蜜蜂（Gribakin, 1972）和莎草粘虫（*Spodoptera exempta Walk*.（Carl, 1981)）等也都曾报道过。背部的这种矩形视杆显然不同于其它相应区域的视杆，这是复眼区域性差异的又一指标。

视杆下段　该段视杆横切面的形状与中段基本相似，但其面积小于中段，而其周围的网状结构更明显。组成视杆的瓣短，接近圆形（图版 I:10）。

反光层　在接近基膜约 14 微米处有厚约 15 微米的气管反光层。纵观其着色不同于上、下两端。在横切面上可看到每个小眼呈现一个正六边形，内有黑色色素分布。

基膜和基细胞　小眼的最底层为基膜，以此将小眼与内部视叶隔开。基膜附近有椭圆形的基细胞及其核，其内有黑色色素。

在小眼之间，自晶锥远端至视杆远端的次虹膜细胞，根据形态差异自外至内可分为以下几层：

a. 外层　该层在晶锥的近端，6 个次虹膜细胞围绕着网膜细胞柱。两者均呈圆形，其大小和着色也都相似（图版 I:11）。

b. 次外层　紧接外层，此层次虹膜细胞呈圆角的三角形（图版 I:12）。

c. 中层　接次外层，次虹膜细胞为正三角形，中心的网膜细胞柱为圆形，面积更小，两者着色相似（图版 I:13）。

d. 次内层　接中层，除面积较小外，形状与次外层相似。

e. 内层　接次内层，该层次虹膜细胞及网膜细胞柱的形状和排列状况均同外层相似，但面积却明显的小于外层。此层网膜细胞柱中心部分着色深于次虹膜细胞。

夜行昆虫和其它生物一样，其结构，功能以及行为之间有着密切的相关性。棉铃虫属夜行昆虫，其复眼具有夜视能力，能在夜晚弱光条件下飞翔、觅食、交配和产卵等。这种夜行的视觉功能是建立在什么样的形态基础上呢？我们从视觉器官的结构方面作了初步探讨。通过我们的工作得知棉铃虫蛾眼的透明区内有大于小眼视网膜细胞几十倍的屏蔽色素细胞，其色素随光的强弱而内外移动。同时，在小眼间有气管及气管反光层的存在，这种成套而又发达的调光和反光结构，使它产生了能够高效地利用进入眼内微弱光的功能。

在同一只棉铃虫复眼上的不同区域，其感光能力也不同。据报道，棉铃虫复眼的背部，侧部及腹部的反光能力是递增的（何忠等，1983）。本项工作得出棉铃虫蛾复眼背部小眼最短、侧部次之，腹部最长。这种小眼长度上的差异也许是造成复眼区域间反光能力不同的原因之一。

此外，小眼长度及视杆中段横切面的形状在棉铃虫复眼上所体现的区域性差异是否与不同区域内小眼的分辨力及接受不同光刺激的能力有关，这些都是需要作进一步探讨的问题。

参　考　文　献

陈宁生　1979　夜蛾趋光行为的本质、规律和导航原理。昆虫知识 **16**(5)：193—200。
何忠、贺小威　1983　棉铃虫夜眼反射光斑的研究。昆虫学报 **26**(2)：130—9。

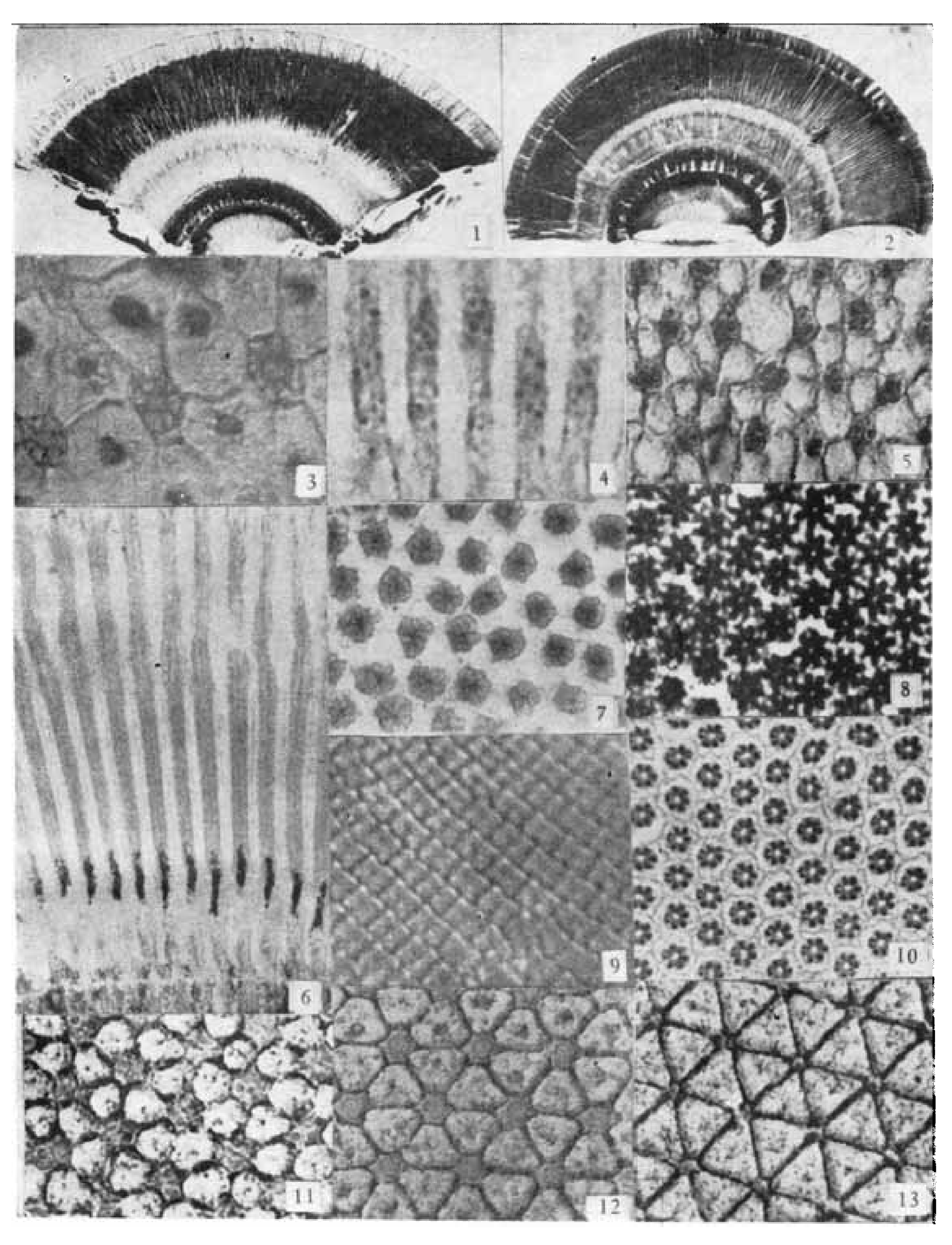
Agee, H. R. 1971 Histology of the compound eye of *Heliothis zea*. *Ann. Ent. Soc. Amer.* **64**(1): 85—8.
————, 1972 Histology of the compound eye of *H. virescens*. (Lepidoptera, Noctuidae.) *Ann. Ent. Soc. Amer.* **65**(3): 767—8.
Carl, C. M. 1981 The fine structure of the compound eye of the African armyworm moth, *Spodoptera exempta* Walk. (Lepidoptera, Noctuidae). *Cell Tiss. Res.* **216**(2): 333—47.
Gribakin, F. G. 1972 The distribution of the long wave photoreceptors in the compound eye of the honeybee as revealed by selective osmic staining. *Vision Res.* **12**(7): 1225—30.

THE EXTERNAL MORPHOLOGY AND FINE STRUCTURE OF THE COMPOUND EYE OF COTTON BOLLWORM MOTH, *HELIOTHIS ARMIGERA* (HÜBNER)

GAO WEI-ZENG GUO BING-QUN
(Institute of Zoology, Academia Sinica)

The shape of the compound eye of the cotton bollworm moth, *Heliothis armigera* (Hübner) coincides approximately with two-fifth of a sphere cut along its axis with an angle of about 150° between the foremost and the hindmost ommatidia, and of about 180° between the uppermost and the lowermost ommatidia. A compound eye contains about 8900 ommatidia. The dioptric apparatus of the ommatidium is composed of the cornea, cone cells and crystalline cone; and seven to nine retinula cells are present but not located at the same level. These elements are surrounded by six secondary iris cells. Two regional differences may be clearly distinguished: 1. The ommatidia are shortest in the dorsal region, and increase in length in the sequence of the lateral, posterior, ventral and anterior regions. 2. The cross section of the middle part of the rhabdom is nearly rectangular in the dorsal region and quite different from the lobed rhabdom in other regions.

The ommatidium and its periphery from the distal surface to the proximal ard divided into 13 layers in the description of the fine structures in the present paper.



1．复眼中部前、后纵切：示 150° 夹角 (67×)　2．复眼中部背、腹纵切：示 180° 夹角 (42×)　3．网膜细胞柱次外层横切：示小网膜细胞及屏蔽色素细胞 (1300×)　4．网膜细胞柱纵切：示小网膜细胞核 (540×)　5．网膜细胞柱横切：示小网膜细胞核及屏蔽色素(720×)　6．视杆纵切：示视杆、反光层和基细胞核(520×)　7．视杆上段横切面：示小网膜细胞 (720×)　8．视杆中段横切面：示背部以外视杆 (720×)　9．视杆中段横切面：示背部视杆(720×)　10．视杆下段横切面：示视杆下段 (720×)　11．小眼间“外层”横切：示屏蔽色素细胞 (720×)　12．小眼间“次外层”横切：示屏蔽色素细胞 (720×)　13．小限间中层横切：示屏蔽色素细胞 (720×)